

ノート Note

熱環境実験設備のラボラトリーオートメーション化の試み

齊 藤 忠 義

Development for Laboratory Automation Systems of Heat
Environment Experiment Installation

By Tadayoshi Saito

Synopsis: The construction of the environment room systems provides opportunity to develop the automatic measurement and control systems as a small laboratory automation system.

This system is composed of four parts—data acquisition, data output, control of environment room and control of experiment equipments.

In this note, author reports the laboratory automation system and the experiment of the heat efficiency of home heating system.

要旨: 恒温恒湿槽設備の設置を契機として自動計測・制御システムを小規模なラボラトリーオートメーションとして開発に着手した。このシステムはデータ集録部・データ出力部・恒温恒湿槽制御部・実験機器制御部から構成されている。

本ノートでは、ラボラトリーオートメーションシステム及びこの装置による住宅の暖房設備熱効率試験について報告する。

1. はじめに

建築環境工学における実験には、温度・湿度・風速・流量・熱量等の測定要素があり、長時間にわたるモデル実験・実物建築の熱環境実測等の実験では、高精度かつ大量のデータ収集・処理が必要となる。

このためにはオートメーション・ラボラトリー (Automation Laboratory: 以下「LA」という) の手法が有用である。LAとは狭義には次の様に定義される: 「不熟練者であっても比較的容易に高精度の計測を可能とし、人間の介在なしにデータを収集し、その加工・記録・整備などを計算機を利用して、研究の達成に重点を置く」。この意味では近年マイクロコンピュータを内蔵する測定機器が発達し、この種の測定機器は演算機能・デジタル出力機能をもつものが多く、高精度の測定・大量データの集録が容易となり、データの収集・記録という意味で

のLAは容易に実現できよう。

当研究室では、配管断熱特性実験、冷暖房設備熱効率試験法の実験を通して、LA化に努めて来たが、本ノートでは、熱環境実験設備のLAシステムの現況を報告する。

2. LAシステム化の概要

熱環境実験設備のLAシステムは、恒温恒湿槽設備の設置を契機に本格的に着手した (昭和56年)。LAシステム開発の主な要因を次に挙げる。

- (1) 本研究室での実験担当者は学部学生であり、彼等が容易に高精度の実験可能とする。
- (2) 熱的定常状態を必要とする実験を行う際、恒温恒湿槽の温湿度設定及び運転を自動化することによって、省エネルギー及び実験時間の短縮を実現する。
- (3) 基本的な測定項目に加え、これらの測定データを演算し、記録することが可能となる。例えば熱量計測を行う場合、流量と差温を計測し、これを乗算すればよく、高価な熱量計を購入せずに計測が可能となり、柔軟な計測システムが構成できる。

- (4) 実験に供される装置を、実験条件に従って制御、或いは設定を変更する際、人間の介在なしに実行できるような自動制御機能を付加する。

LAシステムを構築する場合、いろいろなアプローチが考えられるが、当研究室では原則的に次のような基本方針によった。

- (1) 測定機器は単体でも機能するものとし、センサレベルにおいても可能な範囲においてインテリジェント化されたものを用いる。
- (2) 測定機器とコントローラは基本的に、IEEE-488規格 (GPIB) インターフェースを用いることとし、周辺機器等で前記インターフェースをもたない場合は、接続可能なインターフェース・ボードにて接続し、システム化する。

3. LAシステムの構成

熱環境実験設備としてのLAシステムは、計測系と制御系を有し、前者はデータ集録部・同出力部、後者は熱環境試験室としての恒温恒湿槽設備・実験装置制御部から構成される。図1にシステム概念図、図2に平面図を示す。

マスターコントローラは、LAシステムの中核をなす機器であり、データ集録部・同出力部・恒温恒湿槽設備・試料装置の全てを管理・制御する。マスターコントローラは、512KBのメモリ・5吋フロッピーディスクを内

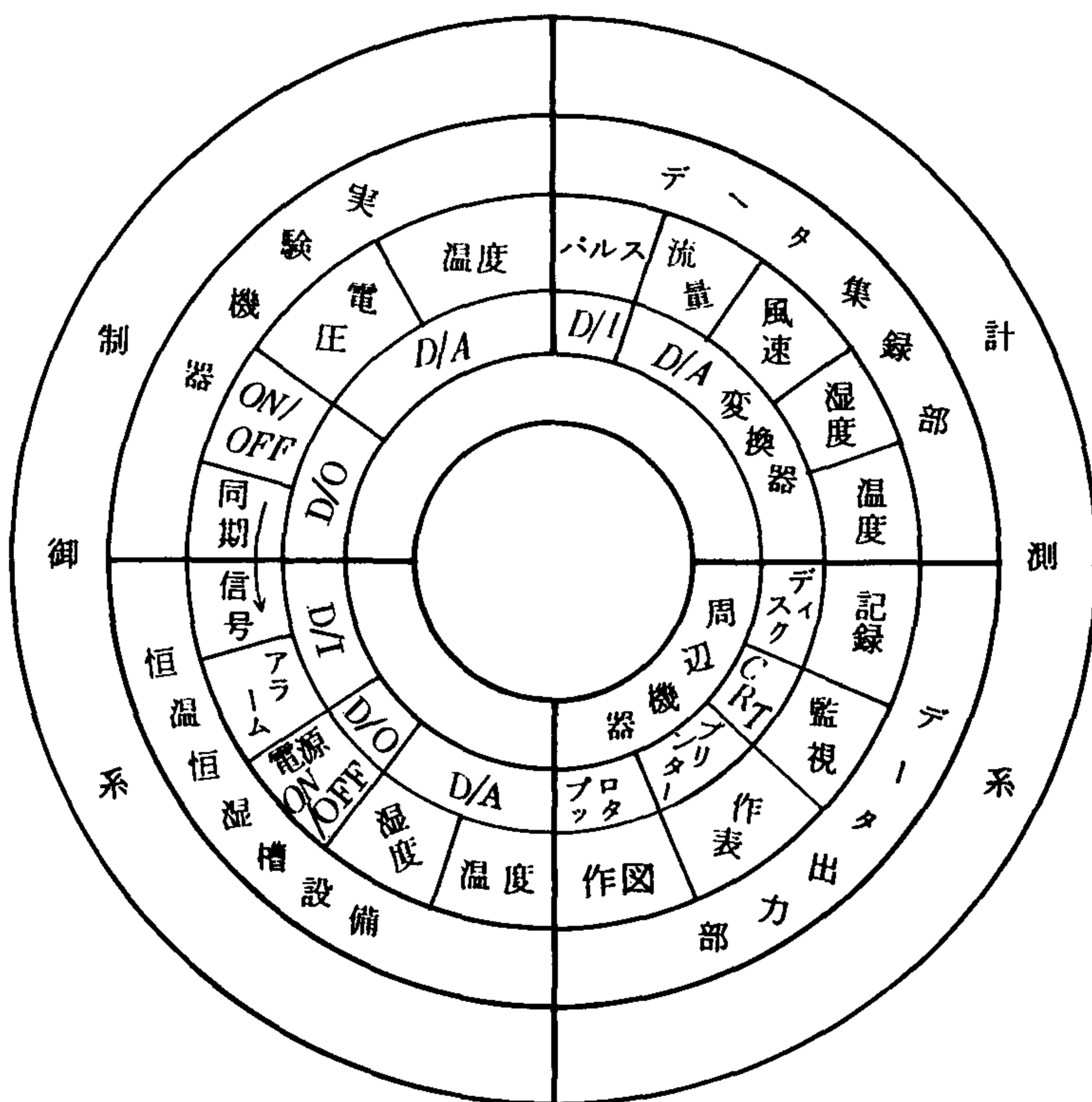


図1 システム概念図

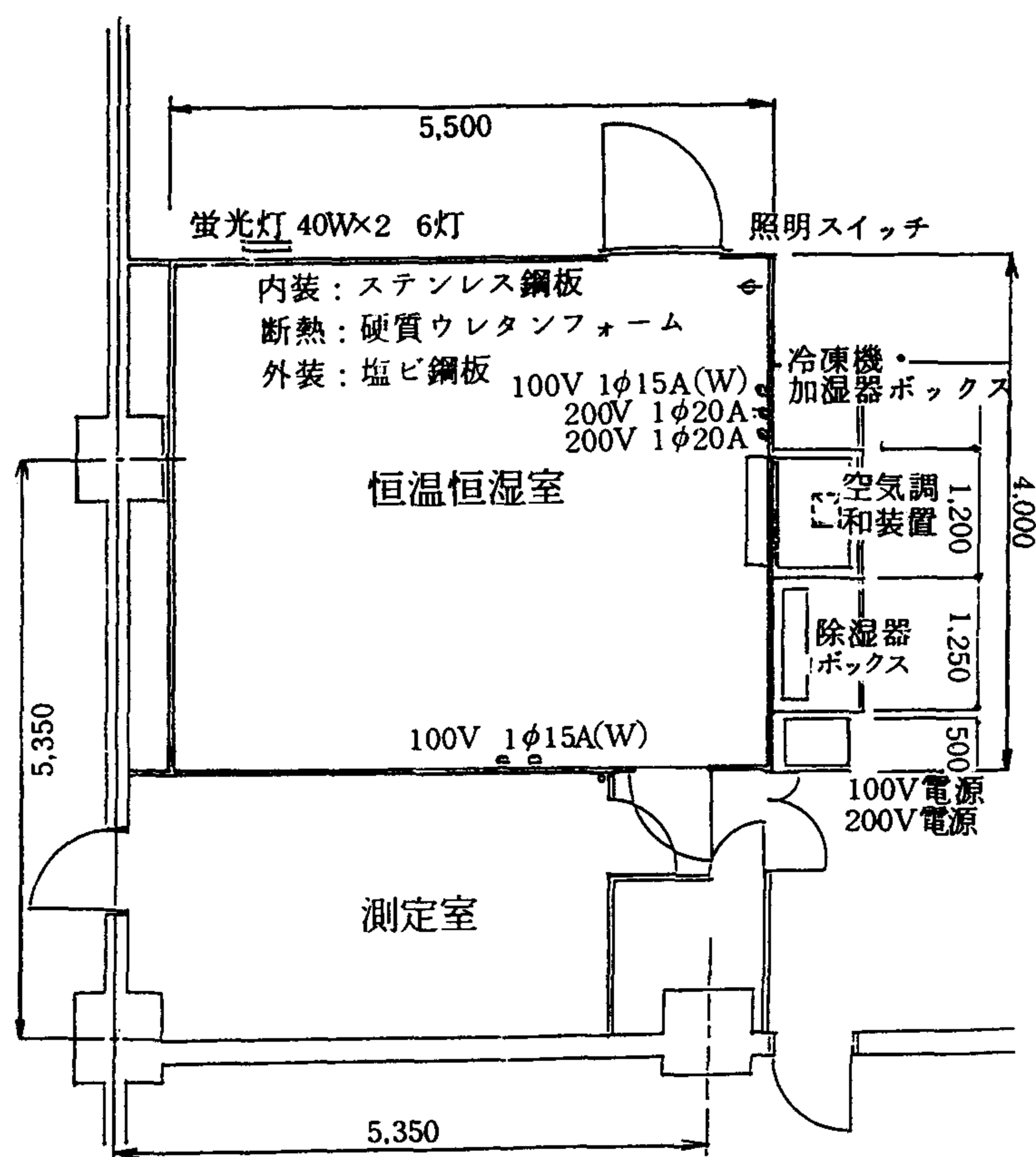


図2 恒温恒湿槽平面図

蔵するディSKTOP・コンピュータであり、次の機能を持つ。

- (1) データ集録部
 - (a) データログの測定モードの設定
 - (b) データの収集
 - (c) 収集データの即時演算
- (2) データ出力部
 - (a) 記録 (ディスク)
 - (b) 測定状態の監視 (CRT管理へのデータ表示及び作図)
 - (c) 作表 (プリンタ出力)
 - (d) 作図 (プロッタ出力)
- (3) 恒温恒湿槽設備制御部
 - (a) スケジューラの制御 (同期信号出力)
- (4) 実験装置制御部
 - (a) 試料装置実験条件の設定
 - (b) 計測データと実験条件の比較・判定
 - (c) データログ出力信号の制御

3.1 データ集録部

データ集録部はマスターコントローラの機能の一部・データログ及び入力用アセンブリから構成される。入力用アセンブリとして、電圧測定用A/D変換ボード・パルス信号入力用D/Iボードを設置している。

従来の実験における測定項目は以下の通りである。

- (1) 電圧測定 — 温度 (熱電対)
 — 湿度 (サーミスタ)
 — 風速 (熱線風速計)
 — 流量 (電磁流量計・ダービン型流量計)
- (2) パルス測定 — 流量 (無電圧接点付翼車型タービン流量計)

熱電対による温度測定は微電圧入力信号であり、高精度測定に対応できる様、データログ・スキャナに高精度ボルトメータを接続した。熱電対のリニアライザはマスターコントローラにてソフト的に処理しており、零点補償はA/D変換ボード内の1チャンネルを割当て、コントローラにて補償演算を行う方式である。

他のセンサの電圧出力はコントローラにて電圧/測定単位換算プログラムによって即時演算すると共に、熱量計測の場合は、流量と出入口温度差から演算する。

3.2 データ出力部

データ出力部は収集データの記録・測定状態の監視・

作表・作図の機能を有し、処理としては計測中の on-line 処理と測定終了後のデータ処理がある。

on-line処理として次の機器を利用する。

- (1) CRT 計測中のデータ及び演算データを管面に表示し、計測の状態を監視する。このCRTへの表示は、測定条件に応じて数値だけでなく、特定の測定項目の状態変化を監視するため、グラフを表示することとする。

- (2) ディスク

計測データの記録はフロッピー・ディスクで行う。ただし長時間のシミュレーション実験のようにデータ収集量が膨大な場合には、ウィンチェスター・ディスクを使用する。

- (3) プリンタ

プリンタによる出力は、計測期間中のデータを確認させるために出力する。前記CRTは9吋であり、表示できるデータはデータログの1

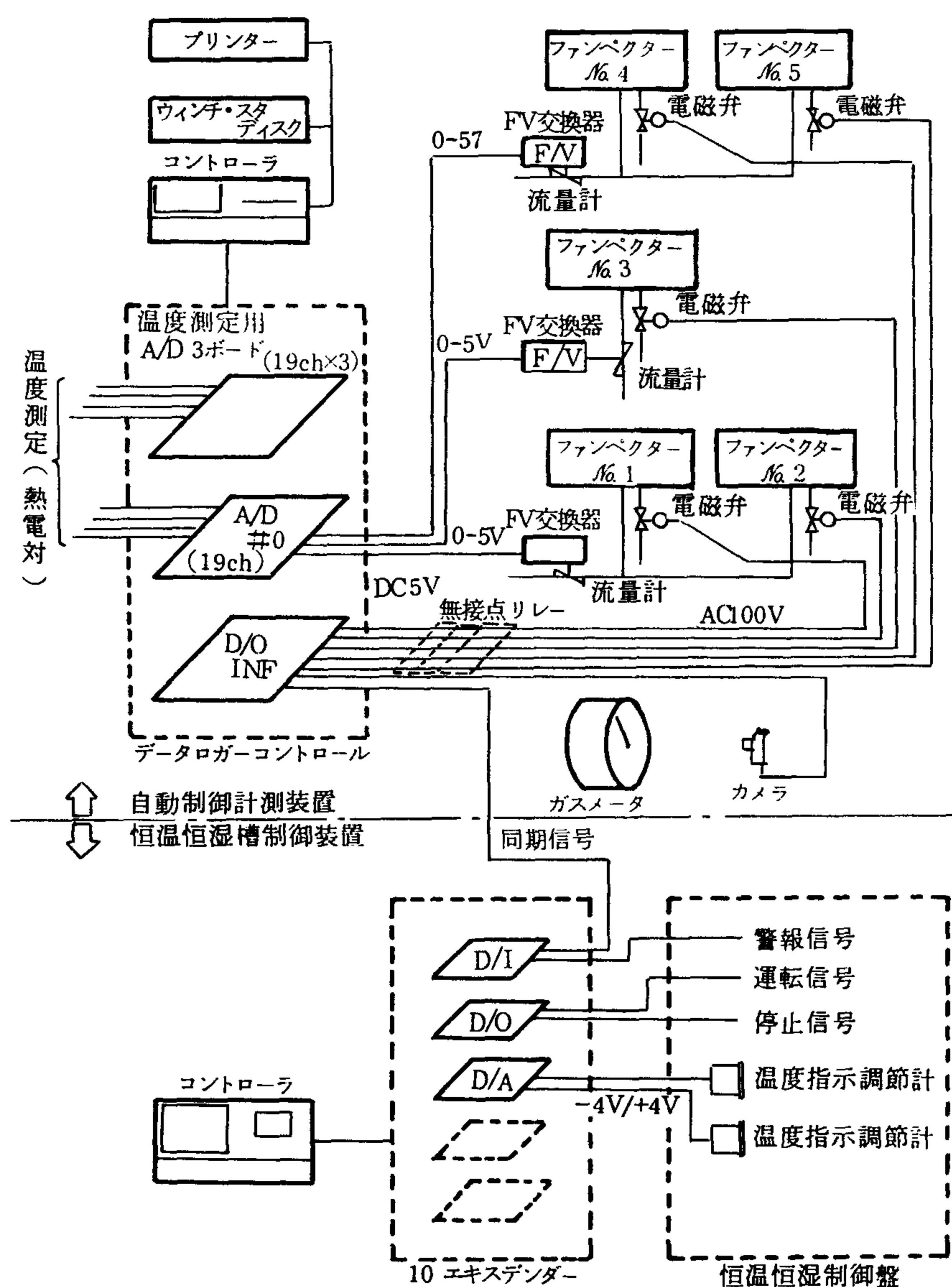


図3 自動制御計測システム

スキャン分である。これに対してプリンター出力は計測期間中のデータを表示でき、実験の経過を常に監視できる。

プリンタへの出力は CRT 出力に比較して時間がかかり、マスターコントローラの動作に障害となる可能性がある。この LA システムではこれを避けるために、バッファを内蔵するプリンタとし、RS-232C による接続とした。

計測終了後のデータ処理は、ディスク装置に記録された生データの 2 次集計・作表・作図であるが、主にマスターコントローラをデータ加工用コンピュータとして利用する。上記の on-line 処理用の機器の他に、作図のためにプロッタを使用する。

3.3 恒温恒湿槽設備

恒温恒湿槽設備は、計画当初10～30℃ (± 0.5℃)、湿度50% (± 5%) の範囲で制御され、その設定はマニュアルによる仕様であったが、温湿度共に外部電圧信号にて設定・調整できる仕様に変更した (表 1)。

表 1 恒温恒湿槽概略仕様

1. 外 気 条 件	夏期 最高30℃, 80% 冬期 最低 0℃, 30%
2. 使 用 条 件	- 5 ~ 40℃ (± 0.5℃) 30 ~ 70% (± 5%)
3. 恒 温 恒 湿 槽	外寸法 4,800 W × 5,500 D × 2,554 H 仕 上 内側: ステンレス (SUS304) 外側: エンビ鋼板 天 井 二重構造システム天井全面吹出し
4. 温 湿 度 調 整 装 置	空気調和装置 (送風機 1.5 kw, ヒータ 12kw, 冷却器) 冷凍機装置 (水冷式 1.5 kw, 2.2 kw 各 1 台) 除湿器装置 (0.5 kw)
5. 温 湿 度 調 整 用 制 御 装 置 及 び 動 力 盤 装 置	制御盤装置 (500 W × 1,800 H × 600 D, 外部電圧信号, PID制御)

この設備を実際に使用した結果、運転開始から温湿度が設定状態に安定するまでの暖気運転に約 2 時間必要なことが明らかとなり、実験時間の節約及び省電力のため、パソコンを利用した自動発停・異常警報出力・温湿度設定の機能を付加した。この制御システムの構成を図 3 の恒温恒湿槽制御装置の部分に示す。

コントローラは、8 ビットパソコンであり、12 ビット D/A 変換ボード (2 チャンネル) を用い、温度・湿度指示調節計に -4 / +4 V の電圧信号を送出し、温湿度の設定を行う。デジタル・アウト (2 チャンネル) 及びデジタルイン (1 チャンネル) は、TTL 信号の入出力を行ない、本設備の制御盤内に設置した無接点リレを介して、電源の自動投入・切断及び制御盤回路からの異常

警報の受信を行う。

コントローラは、プログラム制御され、運転開始時刻・同終了時刻・設定すべき温湿度を入力することにより、制御盤を制御するが、異常警報信号の検出時の措置及び運転停止はキーボード上より操作可能とした。

恒温恒湿槽の温湿度設定は必ずしも一定とする必要はなく、時間と温湿度をプログラムに設定すれば可能である。後述の「暖房設備熱効率試験」では、HASP 用東京標準年平均気温を恒温恒湿槽内に実現するためのスケジュールプログラムを作成した。

3.4 実験装置制御部

ある試料を実験するための装置、すなわち実験装置を設定条件にしたがって制御する部分は、後述の「暖房設備熱効率試験」では、暖房設備自体が試料であり、暖房設備の運転条件にしたがって当該設備を制御する。

実験装置の制御には、ON/OFF・比例制御等があるが、装置自身の比例制御には調整器を使用し、マスターコントローラの負荷を軽減し、設定条件の制御を行うこととした。

この制御部はマスターコントローラの機能の一部・データログ及び出力用アッセンブリから構成される。出力用アッセンブリとして、D/A 変換ボード (2 チャンネル)、パルス信号出力用 D/O ボード (16 チャンネル) を設置している。

従来の実験における測定項目は以下の通りである。

- (1) パルス出力 — 電磁弁の ON/OFF 制御
自動撮影のためのシャッター制御
恒温恒湿槽設備のコントローラへの同期信号出力

- (2) 電圧出力 — ペンレコーダへの出力

パルス出力は、2 位置制御に使用し、交流もしくは大電流の直流電気を使用する機器を制御するには、無接点リレを介して制御し、D/O ボードを保護することとした。制御システム内に複数のタイマを利用すると、時間設定に差が生ずる可能性があるため、マスターコントローラのタイマを主タイマとし、恒温恒湿槽設備の制御には、D/O ボードを介してマスターコントローラから同期信号を送出する。

電圧出力は現在ペンレコーダの制御に使用している。これは、測定データを演算して記録されるデータ (例えば、流量と温度差による熱量データ) の場合、計測中の状態を確認するアナログ的なデータ監視が不可能である。このため、データログを高速にスキャンさせ、演算データをアナログ出力に変換し、ペンレコーダに記録し、監視する。

4. 実験例—暖房設備熱効率試験

このLAシステムを使用した実験例を以下に示す。この実験は、独立住宅の暖房設備熱効率試験法の開発研究を目的としたものであり、市販の暖房設備を設置してシミュレーション試験を行なったものである。主な実験条件は以下の通りである。

- (1) 外気条件は HASP 東京平均気温とし、これを実現する。
- (2) 想定モデル住宅の動的計算負荷に従って各室の放熱器を制御する。
- (3) 放熱器を設置する居室の温度はほぼ一定とする。
- (4) 実験は1日17時間の運転時間を設定し、実時間運転及びシミュレート運転とし、 $\frac{1}{2}$ に短縮した実験を行う。
- (5) 暖房期間の代表的な負荷日にシミュレート実験する（高・中・低負荷の代表日3日）

この実験は長時間かつ実験条件に従った運転となるため、マニュアル制御では不可能であり、LAシステムを利用して行なったものである。

4.1 実験設備の構成

シミュレーション運転には外気室・居室の環境条件が設定されており、この実験ではそれぞれ恒温恒湿槽及びファンコイルによる温度制御装置をもつ隣室とした（図4）。

実験設備の構成は以下の通りである。

- (1) 仮想外気室——恒温恒湿槽
- (2) 仮想居室——隣室
- (3) 暖房設備——被制御実験装置
- (4) 自動制御計測装置——LAシステム

(1) 仮想外気室

設定された代表日の HASP 用東京標準年平均気温・

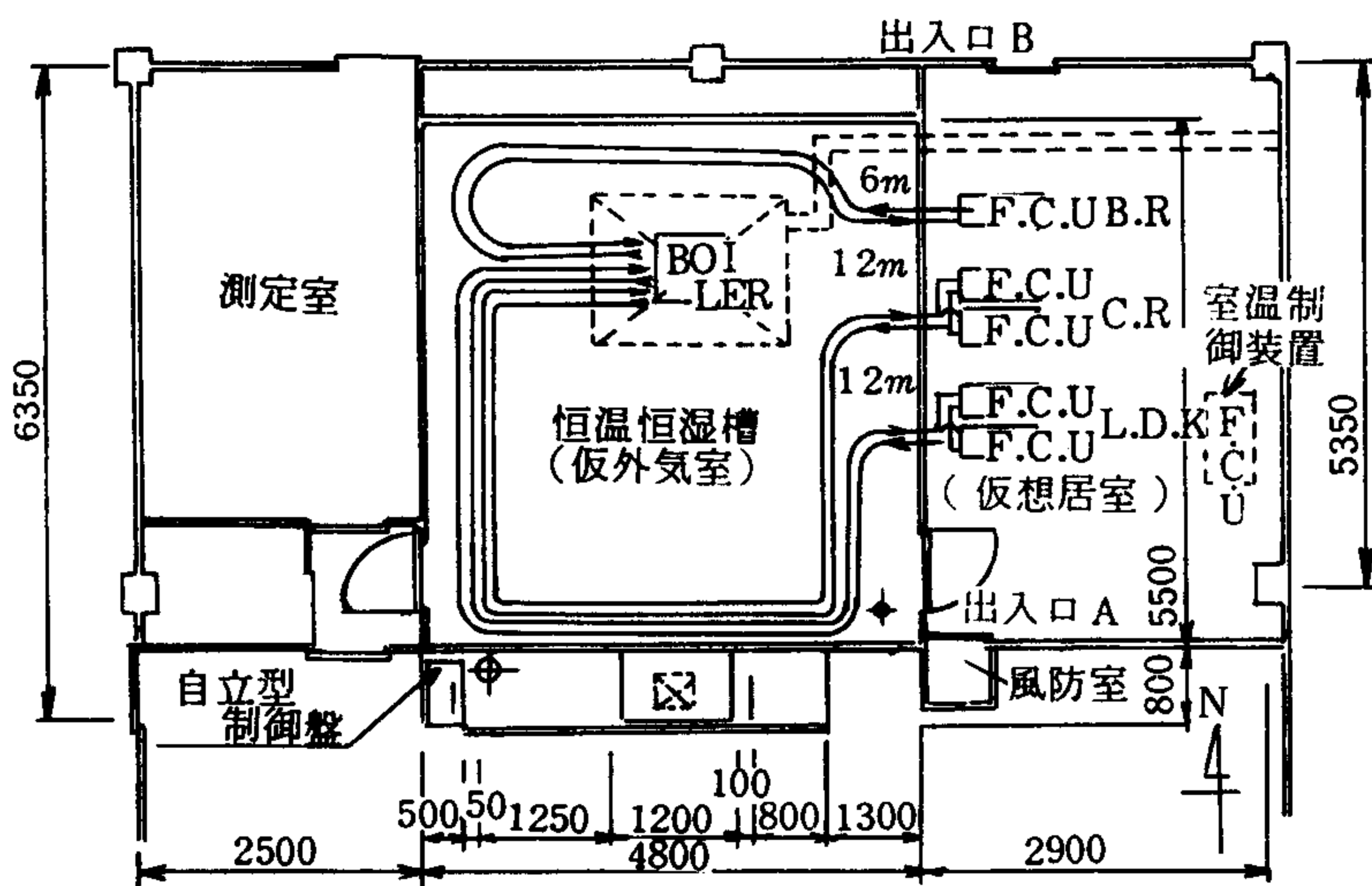


図4 暖房実験装置平面図

運転開始時間をプログラミングし、コントローラによって恒温恒湿槽内の気温を制御する。

コントローラは、マスターコントローラより同期信号を受信し、設定気温を電圧換算して温度指示調節計の温度設定を自動的に行う。制御盤からの異常警報が検出された時は、その原因を確認して緊急停止するか、または適切な処置を行い実験を継続するかを判断し、対話形式でキーボードを操作する（図6(a)）。

(2) 仮想居室

モデル住宅はLDK、主寝室、2子供室の計4室が想定されているが、実験条件としては共通空間とし、仮想居室とした。この室内の温度条件は放熱器の能力を確保できる入口空気温度に制御する。仮想居室は再熱用電気ヒータを組込んだファンコイルにてPID制御を行なった（図5）。

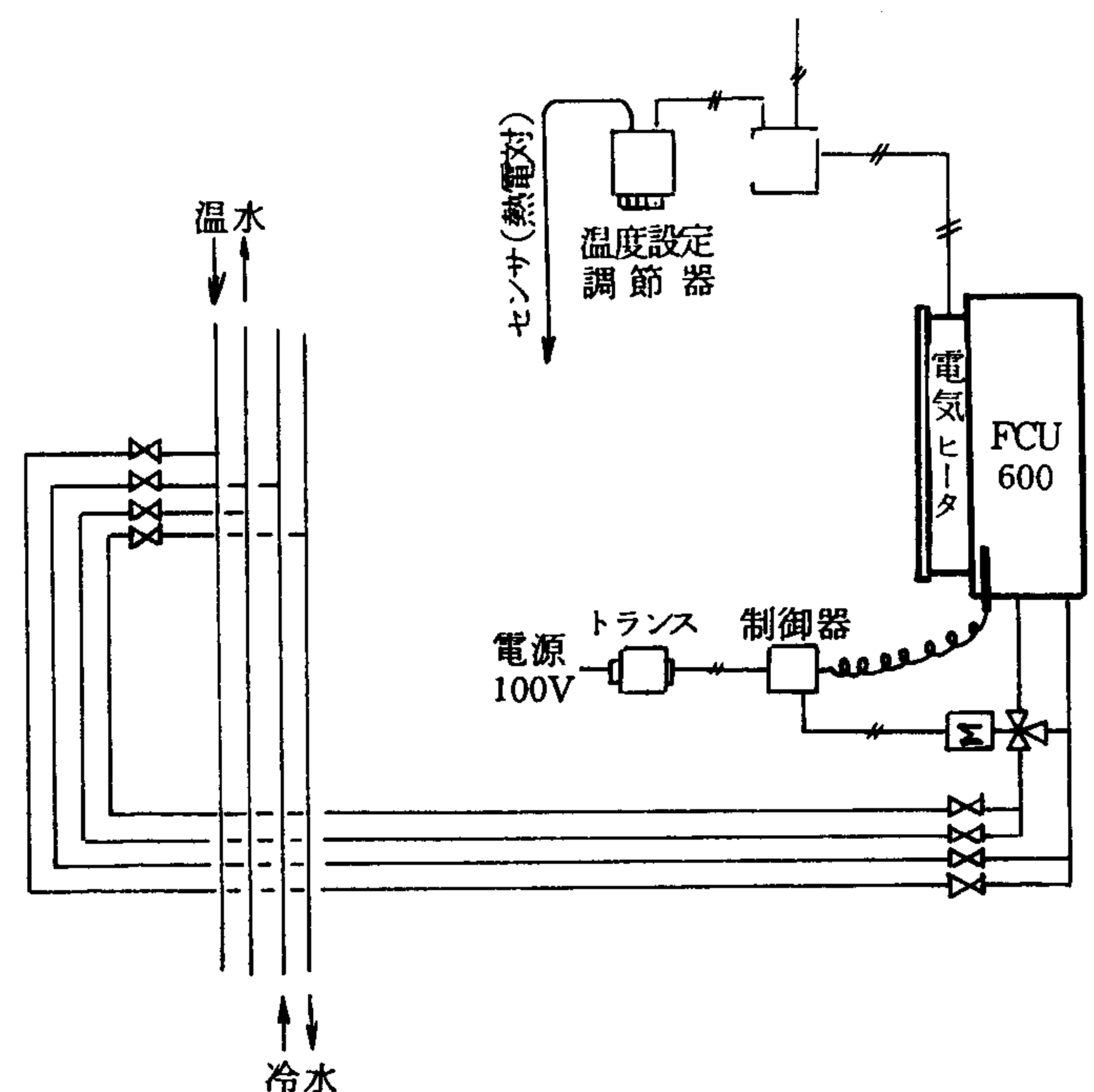


図5 仮想居室室温制御装置

(3) 暖房設備

各放熱器には使用時間と放熱量が設定されており、この条件に従ってスケジュール運転及び放熱器の制御を行う。すなわち、放熱時には電磁弁を開き、設定された放熱量に達すると閉じる。放熱量はデータログが放熱器の出入口温度を測定し、温度差を計算し、これに流量計からの流量データを乗算し、放熱データを計算する。この累計値を計算し、設定放熱量に等しくなった時に電磁弁を閉じる。この制御はデータログのD/Oボード信号により無接点リレを介して行なわれる（図5）。

(4) 自動制御計測装置

計測点は流量計測3点, 温度計測65点, 計68点である。表2に計測々点リストを示す。図表に示すチャンネル番号19, 39, 59の基準温度はA/D変換ボードの最終チャンネルが零点補償に使用されている。

制御項目は(1), (3)に記した通りであるが, データ集録のためにD/Oボードの1チャンネルが使用されている。これはガス流量計には信号出力機能がなく, マニュアルによる読取り記録では時間的誤差, 記録の誤りの可能性があり, カメラを制御し, 自動撮影した。図6(b)に自動制御, 計測プログラムの流れ図を示す。

On-line データの集録にはウィンチェスター・ディスクを使用した。

測定終了後, 集録データを計測項目別に2次ファイルを作成し, 作表・作図を行なった。図7に1例を示す。

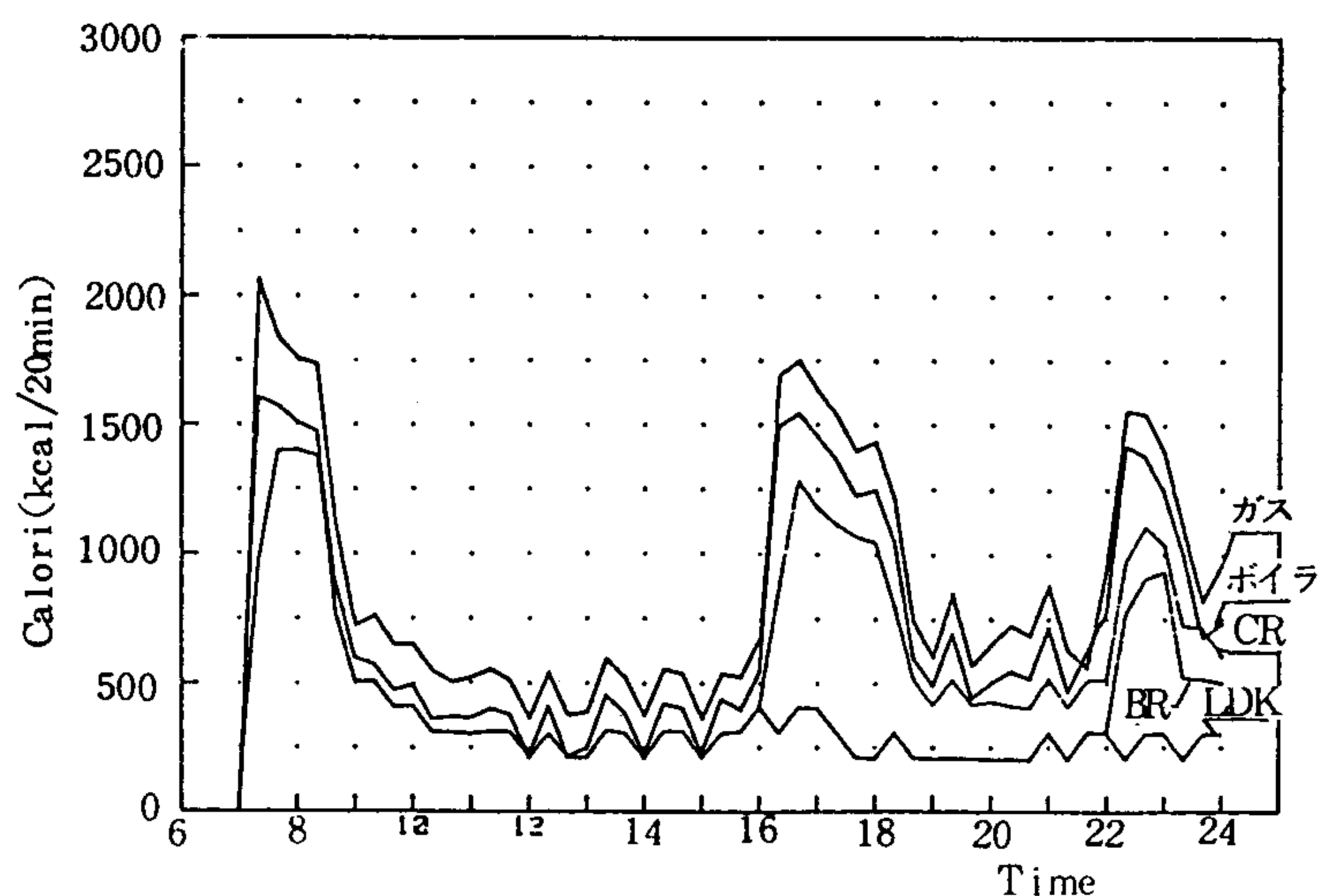
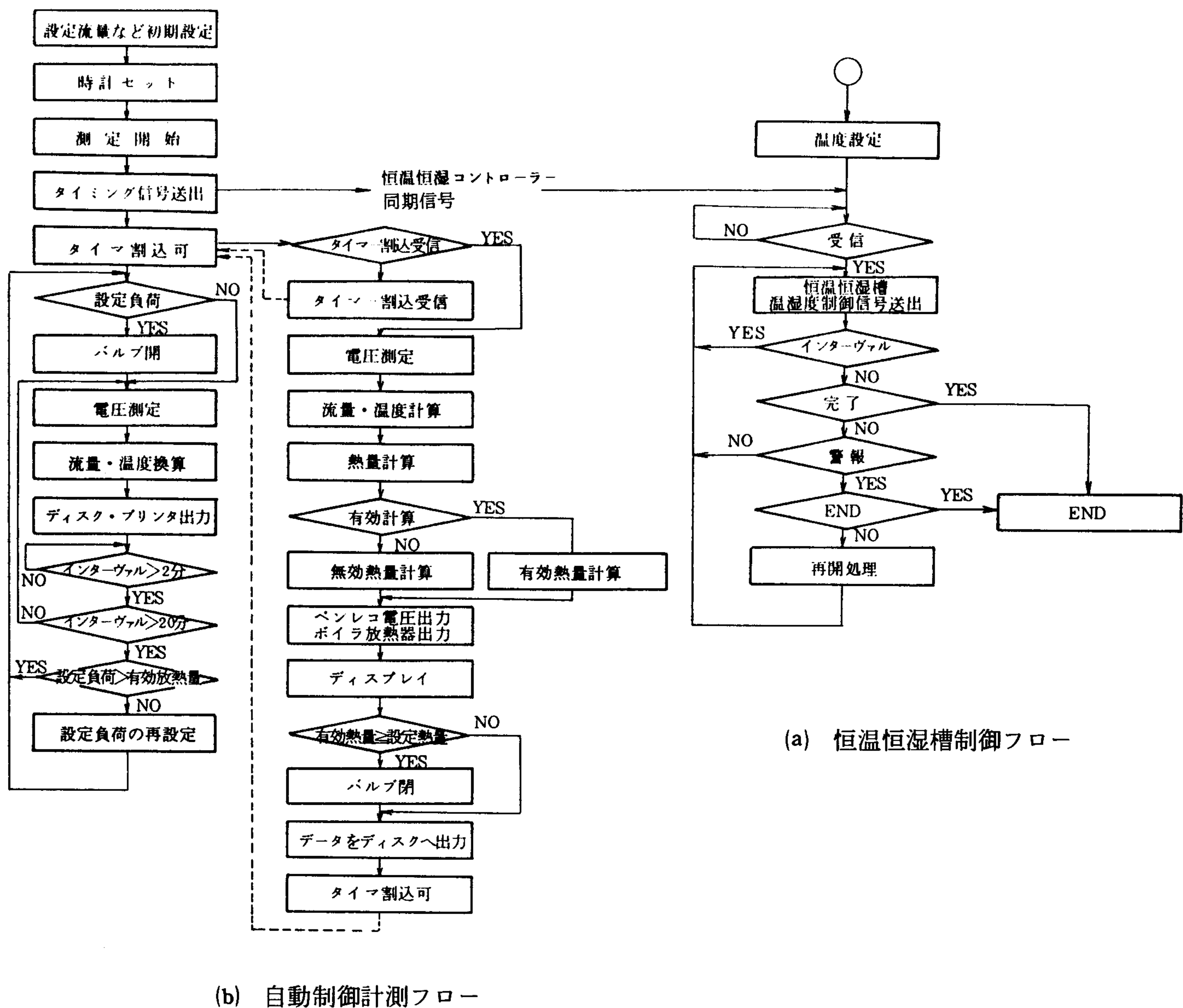
5. おわりに

環境実験設備のLAシステム化の現況を述べたが, 若干の問題点を指摘したい。

- (1) LAシステムを実際には使用するためには, マスターコントローラのプログラム作成が必要であり, コンピュータ・計測機器・制御機器を熟知した上でプログラム作成能力が必要となる。
- (2) 大学における実験設備は多目的に利用され, その都度プログラムすることが多く, 測定準備としての作業が増加する。

表2 自動計測測点リスト

チャンネルNo	スロットNo	測定記号	測定項目	備考	チャンネルNo	スロットNo	測定記号	測定項目	備考
0	1-00	FL1	LDK放熱器 流量	流量計出力	36	2-16	PS3-2	配管表面温度CR (横)	0.1mmφCC
1	1	TS2	入口温水温度	シース付CC	37	17	-3	" (下)	"
2	2	TR1	出口 "	"	38	18	-4	" (横)	"
3	3	AS1	"-1 吹出口空気温度	0.32mmφCC	39	19	-		基準温度
4	4	AR1	-1 吸入口 "	"	40	3-0	PA-1	配管周囲空気温度 L.D.K 系統	0.32mmφCC
5	5	AS2	-2 吹出口空気温度	"	41	1	-2	"	"
6	6	AR2	-2 吸入口 "	"	42	2	-3	BR "	"
7	7	FL2	BR放熱器 流量	流量計出力	43	3	-4		"
8	8	TS4	入口温水温度	シース付CC	44	4	-5	CR "	"
9	9	TR3	出口 "	"	45	5	-6		"
10	10	AS3	" 吹出口 "	0.32mmφCC	46	6	RA-1	室内空気温度 L.D.K	"
11	11	AB3	" 吸入口 "	"	47	7	2	"	"
12	12	FL3	CR放熱器 流量	流量計出力	48	8	3	"	"
13	13	TS6	入口温水温度	シース付CC	49	9	4	"	"
14	14	TR5	出口 "	"	50	10	5	"	"
15	15	AS4	-1 吹出口空気温度	0.32mmφCC	51	11	6	BR	"
16	16	AB4	-1 吸入口 "	"	52	12	7	"	"
17	17	AS5	-2 吹出口空気温度	"	53	13	8	"	"
18	18	AB5	-2 吸入口 "	"	54	14	9	"	"
19	19	-	-	基準温度	55	15	10	"	"
20	2-0	TS1	ボイラ側LDK 出口温水温度	シース付CC	56	16	11	CR	"
21	1	TR2	入口 "	"	57	17	12	"	"
22	2	TS3	BR 出口温水温度	"	58	18	13	"	"
23	3	TR4	入口 "	"	59	19	-		基準温度
24	4	TS5	CR 出口温水温度	"	60	4-0	RA-14	CR	0.32mmφCC
25	5	TR6	入口 "	"	61	1	15	CR	"
26	6	TB	ボイラ着火確認	0.32mmφCC	62	2	BA-1	ボイラ周囲空気温度	"
27	7	PS1-1	配管表面温度LDK (上)	0.1mmφCC	63	3	2	"	"
28	8	-2	(横)	"	64	4	3	"	"
29	9	-3	(下)	"	65	5	OA-1	環境試験室空気温度	"
30	10	-4	(横)	"	66	6	2	"	"
31	11	PS2-1	BR (上)	"	67	7	3	"	"
32	12	-2	(横)	"	68	8	4	"	"
33	13	-3	(下)	"	69	9	BS	ボイラ排気温度	"
34	14	-4	(横)	"	70	10	TG	ガス温度	0.1mmφCC
35	15	PS3-1	CR (上)	"					



ボックス化し、実験内容の理解・データの取扱い・解析等が表面的になる懸念がある。

今後の課題は、上記の問題に対してパッケージプログラムの開発・データ処理のツールプログラムの作成にある。

謝辞 LAシステム化に際し、ご助言いただいた機械工学科西原助教授，プログラミングを担当した依田弘幸職員，実験を担当した学生諸君のご協力に対し，ここに謝意を表します。

(3) 学部学生が、このLAシステムをプログラミングを含めて駆使することは容易でない。一方、測定準備ができている場合には、学生にとって大部分がブラック